

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



15 DEC 2004

REC'D 22 DEC 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:**

10 2004 001 877.4

Anmeldetag:

14. Januar 2004

Anmelder/Inhaber:

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart/DE

Bezeichnung:Verfahren und Steuergerät zum Betreiben einer
Brennkraftmaschine mit einem Einspritzsystem**IPC:**

F 02 D 41/38

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 8. Dezember 2004
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident
Im Auftrag

5 01.12.2003 WKL/HUT/GGA
Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

10 Verfahren und Steuergerät zum Betreiben einer
Brennkraftmaschine mit einem Einspritzsystem

Stand der Technik

15 Die Erfindung betrifft ein Verfahren, ein Computerprogramm
und ein Steuergerät zum Betreiben einer Brennkraftmaschine
mit einem Einspritzsystem, insbesondere für ein
Kraftfahrzeug. Darüber hinaus betrifft die Erfindung einen
20 Datenträger mit diesem Computerprogramm und eine
Brennkraftmaschine mit diesem Steuergerät.

Aus dem Stand der Technik, insbesondere der DE 101 31 507
A1, ist ein derartiges Verfahren und Steuergerät
grundsätzlich bekannt. Es wird dort ein Einspritzsystem für
eine Brennkraftmaschine offenbart, bei dem Kraftstoff von
einer Zumesseinheit und einer Hochdruckpumpe in einen
Kraftstoffspeicher gefördert wird. Das dort offenbarte
Einspritzsystem umfasst weiterhin zwei Regelkreise zum
30 Regeln des Druckes in dem Kraftstoffspeicher. Ein erster
Regelkreis sieht vor, diesen Druck durch eine geeignete
Ansteuerung eines Druckregelventils auf der Hochdruckseite
des Einspritzsystems zu regeln. Ein zweiter Regelkreis
sieht vor, den Druck in dem Kraftstoffspeicher durch
35 geeignetes Ansteuern der Zumesseinheit auf der

Niederdruckseite des Einspritzsystems zu regeln. Um Ungenauigkeiten bei der hochdruckseitigen Regelung des Druckes in dem Kraftstoffspeicher, welche auf Fertigungstoleranzen bei der Serienfertigung des Druckregelventils zurückzuführen sind, möglichst gering zu halten, wird in der genannten Offenlegungsschrift ein Verfahren zur Generierung einer individuellen Kennlinie offenbart, welche das reale Verhalten eines individuellen Druckregelventils repräsentiert. Das Druckregelventil wirkt dann im Rahmen des ersten Regelkreises vorzugsweise gemäß dieser individuellen Kennlinie anstatt gemäß einer angenäherten beziehungsweise normierten Kennlinie angesteuert.

Ungenauigkeiten können auch bei der Regelung des Druckes in dem Kraftstoffspeicher durch den zweiten Regelkreis entstehen. Dies gilt beispielsweise dann, wenn das Verhalten einer real verwendeten Zumesseinheit aufgrund von Fertigungstoleranzen von einem erwarteten Verhalten einer normierten Zumesseinheit abweicht.

Ausgehend von dem genannten Stand der Technik ist es deshalb die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren Computerprogramm und Steuergerät zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einem Einspritzsystem bereitzustellen, welche eine Berücksichtigung des individuellen Verhaltens einzelner Zumesseinheiten bei deren Betrieb ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch das in Patentanspruch 1 beanspruchte Verfahren gelöst. Dieses Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass während des Betriebs der Brennkraftmaschine eine individuelle Kennlinie, welche das reale Verhalten der Zumesseinheit repräsentiert, für die Ansteuerung der Zumesseinheit ermittelt wird.

Vorteile der Erfindung

Die erfindungsgemäß generierte individuelle Kennlinie
5 spiegelt das reale Verhalten einer tatsächlich verwendeten
Zumesseinheit wesentlich präziser wieder als eine Norm-
Kennlinie, welche typischerweise das statistisch gemittelte
Verhalten einer großen Vielzahl von gefertigten
10 Zumesseinheiten mit jeweils unterschiedlichen
Fertigungstoleranzen repräsentiert. Wenn die aufgrund des
erfindungsgemäßen Verfahrens ermittelte individuelle
Kennlinie für die tatsächlich verwendete Zumesseinheit bei
der Regelung des Druckes in dem Kraftstoffspeicher
verwendet wird, so ist diese Regelung wesentlich präziser,
15 als wenn sie anhand der Norm-Kennlinie erfolgen würde.

Die Kennlinie repräsentiert üblicherweise die von der
Zumesseinheit für die Hochdruckpumpe bereitgestellte
Kraftstoffmenge beziehungsweise den Mengenstrom in
20 Abhängigkeit von der Größe ihres elektrischen
Ansteuerstromes.

Das erfindungsgemäße Verfahren sieht vor, die individuelle
Kennlinie durch Interpolation von mindestens zwei
25 ermittelten Stützpunkten für diese Kennlinie zu generieren.
Zur Ermittlung eines solchen Stützpunktes umfasst das
Verfahren folgende Schritte: Betreiben der
Brennkraftmaschine in einem geeignet vorbestimmten
Referenzbetriebspunkt; und Ermitteln des vorläufigen
30 Stützpunktes der individuellen Kennlinie für den
Referenzbetriebspunkt als Wertepaar umfassend den von der
Zumesseinheit in dem Referenzbetriebspunkt für die
Hochdruckpumpe bereitgestellten Kraftstoff-Mengenstrom und
den zugehörigen elektrischen Ansteuerstrom.

Es ist vorteilhaft, dass diese Ermittlung der einzelnen Stützpunkte erst dann durchgeführt wird, wenn die Brennkraftmaschine bei Betrieb in dem Referenzpunkt eine vorbestimmte Mindesttemperatur erreicht hat. Der Vorteil ist darin zu sehen, dass erst dann der Referenzbetriebspunkt stabil ist. Die bei stabilem Referenzbetriebspunkt ermittelten Stützwerte bilden das reale Verhalten einer tatsächlich verwendeten Zumesseinheit präziser ab, als Stützpunkte, welche bei einem instabilen beziehungsweise noch schwankenden Referenzbetriebspunkt ermittelt wurden.

Die Präzision, mit welcher die ermittelten Stützpunkte das reale Verhalten einer Zumesseinheit widerspiegeln, kann dadurch weiter verbessert werden, dass sie mit Hilfe des beschriebenen Verfahrens zunächst nur vorläufig festgelegt werden. Es ist dann empfehlenswert, einer Mehrzahl von vorläufigen Stützpunkten für ein und denselben vorbestimmten Referenzbetriebspunkt durch mehrfaches Wiederholen der aufgezeigten Verfahrensschritte zu ermitteln, um dann durch geeignete Filterung dieser Mehrzahl von Stützpunkten einen endgültigen Stützpunkt zu ermitteln, welcher das reale Verhalten der Zumesseinheit noch präziser repräsentiert.

Die für die Interpolation der zu ermittelnden individuellen Kennlinie verwendeten Stützpunkte werden vorteilhafterweise für unterschiedliche Betriebszustände der Brennkraftmaschine, wie beispielsweise Leerlauf oder Volllastbetrieb, ermittelt. Auch ist es empfehlenswert, die Generierung der Stützpunkte für solche Betriebszustände vorzusehen, in denen die Brennkraftmaschine am häufigsten betrieben wird.

Erfindungsgemäß wird ein Unterschied zwischen der Norm-Kennlinie und der ermittelten individuellen Kennlinie berechnet. Der Druck als Regelgröße wird mit Hilfe einer Korrekturkennlinie, welche diesen Unterschied

5 repräsentiert, bereinigt. Vorteilhafterweise kann die bereinigte Regelgröße wesentlich präziser, das heißt durch enger vorgegebene Druck-Schwellenwerte überwacht werden als die nicht bereinigte Regelgröße. Der Grund dafür ist darin zu sehen, dass die Druck-Schwellenwerte für die bereinigte
10 Regelgröße eventuelle Schwankungen der Regelgröße aufgrund des eventuell abweichenden Verhaltens der real verwendeten Zumesseinheit gegenüber einem Normverhalten nicht berücksichtigen muss.

15 Erfindungsgemäß wird ein Unterschied zwischen der Norm-Kennlinie und der ermittelten individuellen Kennlinie berechnet. Der Druck als Regelgröße wird mit Hilfe einer Korrekturkennlinie, welche diesen Unterschied repräsentiert, bereinigt. Vorteilhafterweise kann die

20 bereinigte Regelgröße wesentlich präziser, das heißt durch enger vorgegebenen Druck-Schwellenwert überwacht werden, als die nicht bereinigte Regelgröße. Der Grund dafür ist darin zu sehen, dass die Druck-Schwellenwerte für die bereinigte Regelgröße eventuelle Schwankungen der
25 Regelgröße aufgrund des eventuell abweichenden Verhaltens der real verwendeten Zumesseinheit gegenüber einem Normverhalten nicht berücksichtigen muss.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind
30 Gegenstand der Unteransprüche.

Die oben genannte Aufgabe der Erfindung wird weiterhin durch ein Computerprogramm und ein Steuergerät zum Durchführen dieses Verfahrens sowie durch einen Datenträger
35 mit dem Computerprogramm und eine Brennkraftmaschine mit

dem Steuergerät gelöst. Die Vorteile dieser Lösungen entsprechen den oben mit Bezug auf das beschriebene Verfahren genannten Vorteilen.

5 Zeichnungen

Der Beschreibung sind insgesamt sechs Figuren beigelegt, wobei

- 10 Figur 1 den Aufbau eines Einspritzsystems für eine Brennkraftmaschine;
- Figur 2 eine fehlerhafte Ansteuerung einer Zumesseinheit;
- 15 Figur 3 das erfindungsgemäße Verfahren;
- Figur 4 den erfindungsgemäßen Aufbau eines Steuergerätes;
- 20 Figur 5 eine erfindungsgemäß generierte, individuelle Kennlinie für eine Zumesseinheit mit korrigierter Ansteuerung; und
- 25 Figur 6 das Druckregelverhalten des Einspritzsystems, insbesondere bei Verwendung der individuellen Kennlinie für die Zumesseinheit

veranschaulicht.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

30

Die Erfindung wird nachfolgend in Form von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die genannten Figuren detailliert beschrieben.

Figur 1 zeigt ein Einspritzsystem 100 für eine Brennkraftmaschine (hier nicht gezeigt), wie es der vorliegenden Erfindung zugrunde liegt. Es umfasst einen Kraftstofftank 110, aus dem mit Hilfe einer elektrischen Kraftstoffpumpe 120 Kraftstoff zu einer Zumesseinheit 130 gefördert wird. Die Zumesseinheit 130 stellt im Ansprechen auf ein Regelsignal z eine bestimmte Kraftstoffmenge für eine nachgeschaltete Hochdruckpumpe 140 bereit. Die Hochdruckpumpe pumpt den Kraftstoff in einen Kraftstoffspeicher 150. In dem Kraftstoffspeicher 150 wird der Kraftstoff unter hohem Druck gespeichert, um auf Abruf für Einspritzventile 160 der Brennkraftmaschine zur Verfügung zu stehen. Die Größe des Druckes in dem Kraftstoffspeicher wird mit Hilfe eines Drucksensors 170 gemessen. Der Drucksensor 170 übermittelt den gemessenen Druck in dem Kraftstoffspeicher 150 in Form eines Messsignals p an ein Steuergerät 180 des Einspritzsystems 100. Im Rahmen der Erfindung fungiert das Steuergerät 180 im Wesentlichen als Druckregler zum Regeln des Druckes in dem Kraftstoffspeicher 150 im Ansprechen auf das Messsignal p unter Berücksichtigung unter anderem der jeweils aktuellen Drehzahl N und der aktuellen Betriebstemperatur T der Brennkraftmaschine.

Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren zur Generierung der individuellen Kennlinie i_{KL} beziehungsweise der korrigierten Kennlinie detailliert beschrieben.

Dazu wird in Figur 2 zunächst ein Fehler veranschaulicht, der bei Ansteuerung der real verwendeten Zumesseinheit 130 auf Basis einer falschen Kennlinie entsteht. Dazu ist in Figur 2 ein Kraftstrom-Mengenstrom Q der Zumesseinheit, gemessen zum Beispiel in Litern pro Stunde, aufgetragen über deren elektrischem Ansteuerstrom I . Anders ausgedrückt, ist in Figur 2 derjenige Ansteuerstrom I für

eine Zumesseinheit zu erkennen, der die Zumesseinheit veranlasst, eine gewünschte Menge beziehungsweise einen gewünschten Mengenstrom an Kraftstoff für die Hochdruckpumpe 140 bereitzustellen. Diese Menge hängt jedoch ganz entscheidend von dem Verhalten der tatsächlich verwendeten Zumesseinheit 130 ab, wie dies in Figur 2 veranschaulicht ist und nachfolgend erläutert wird.

Es sind in Figur 2 zwei Kennlinien dargestellt, wobei die erste eine Norm-Kennlinie nKL und die zweite eine individuelle Kennlinie iKL repräsentiert. Die Norm-Kennlinie nKL repräsentiert üblicherweise das statistisch gemittelte Verhalten einer Vielzahl von Zumesseinheiten mit unterschiedlichen Fertigungstoleranzen. Demgegenüber repräsentiert die individuelle Kennlinie iKL das reale Verhalten der tatsächlich verwendeten Zumesseinheit 130. Der Tatsache, dass die individuelle Kennlinie in Figur 2 oberhalb der Norm-Kennlinie liegt, ist zu entnehmen, dass die tatsächlich verwendete Zumesseinheit 130 bei gleichem Ansteuerstrom I eine größere Kraftstoffmenge bereitstellt, als dies eine normierte Zumesseinheit tun würde. Dies ist in Figur 2 an folgendem Beispiel veranschaulicht:

Wenn die Druckregleinrichtung 184 (siehe Figur 4) aufgrund einer aktuellen Druckregelabweichung e einen durch die Zumesseinheit 130 bereitzustellenden Mengenstrombedarf von 120 Litern feststellt (1), dann wäre es unter Zugrundelegung der Norm-Kennlinie nKL, das heißt eines normierten Verhaltens der Zumesseinheit 130, erforderlich, diese mit einem Ansteuerstrom von 1 A anzusteuern (2).

Weil jedoch die bei dem Beispiel in Figur 2 tatsächlich verwendete Zumesseinheit in ihrem Verhalten von der Norm abweicht, würde die tatsächlich verwendete Zumesseinheit 130 bei Ansteuerung mit einem Strom von 1 A tatsächlich

nicht die geforderten 120 Liter pro Stunde, sondern stattdessen einen Mengenstrom von circa 138 Litern pro Stunde an Kraftstoff für die Hochdruckpumpe 140 bereitstellen (3). Diese aus Sicht der Druckregelung fehlerhafte Ansteuerung der Zumesseinheit würde zu einem unerwünschten Druckanstieg in dem Kraftstoffspeicher führen, welcher von dem Drucksensor 170 erfasst und dem Steuergerät 180 als neuer Ist-Druck über das Messsignal p zugeführt würde. Die Druckregelung in dem Steuergerät 180 würde dann versuchen, diese unerwünschte Drucküberhöhung in Form eines Fehlerausgleichs über einen Integrationsanteil in der Druckregleinrichtung 184 zu kompensieren (4), was letzten Endes bei alleiniger Zugrundelegung der falschen Norm-Kennlinie nKL zu einer erneut falschen, von der Zumesseinheit bereitgestellten, Kraftstoffmenge führen würde (5). Der auf diese Weise durch die Druckregleinrichtung 184 bei der Zumesseinheit 130 eingestellte Mengenstrom läge in diesem Fall sogar unterhalb der ursprünglich gewünschten 120 Liter pro Stunde, weil die Regleinrichtung davon ausgehen musste, dass der ursprünglich eingestellte Wert (3) zu hoch war.

Um derartige Instabilitäten bei der Regelung des Druckes in einem Kraftstoffspeicher 150 über eine Volumenstromregelung mit Hilfe der Zumesseinheit 130 auf der Niederdruckseite zu vermeiden, wird erfindungsgemäß ein Verfahren zur Generierung der individuellen Kennlinie vorgeschlagen. Die Ermittlung der individuellen Kennlinie gemäß Figur 3 bezieht sich auf ein Steuergerät, bei dem zunächst noch keine Korrekturkennlinie oder Filtereinrichtung vorhanden ist, sondern der Ausgang der Druckregleinrichtung direkt zur Ansteuerung der Zumesseinheit 130 verwendet wird, welche im Unterschied zu der Normkennlinie das reale Verhalten der Zumesseinheit 130 wesentlich präziser repräsentiert; siehe Figur 2.

Dazu ist es zunächst erforderlich, die Brennkraftmaschine mit dem Einspritzsystem in Betrieb zu nehmen und zunächst abzuwarten, bis die Betriebstemperatur der

5 Brennkraftmaschine über eine vorgegebene Mindesttemperatur T angestiegen ist. Erst dann wird gemäß Verfahrensschritt S0 eine sogenannte Lernfunktion gestartet. Die Lernfunktion bezeichnet eine Art Betriebsmodus des Steuergerätes 180, welcher die Generierung der individuellen Kennlinie iKL

10 vorzugsweise parallel zu einem normalen Betrieb der Brennkraftmaschine ermöglicht. Im Rahmen dieser Lernfunktion wird dann gemäß einem Verfahrensschritt S1 vorzugsweise kontinuierlich der aktuelle Betriebszustand der Brennkraftmaschine daraufhin überprüft, ob,

15 beziehungsweise wann, einer von in der Regel mehreren vorbestimmten Referenzbetriebspunkten von der Brennkraftmaschine eingenommen wird. Jeder dieser Referenzbetriebspunkte ist typischerweise durch einen vorbestimmten Druck in dem Kraftstoffspeicher, eine

20 vorbestimmte Einspritzmenge in die Brennkammern der Brennkraftmaschine und/oder durch eine vorbestimmte Drehzahl N der Brennkraftmaschine definiert. Die Referenzbetriebspunkte sind vorteilhafterweise auf

25 verschiedene Betriebszustände der Brennkraftmaschine verteilt. Bei diesen Betriebszuständen handelt es sich vorteilhafterweise um solche, welche die Brennkraftmaschine aufgrund ihrer jeweiligen Verwendung, beziehungsweise ihres jeweiligen Einsatzspektrums, besonders häufig einnimmt.

30 Wenn dann in Verfahrensschritt S2' festgestellt wird, dass die Brennkraftmaschine aktuell in einem ersten vorbestimmten Referenzpunkt betrieben wird, dann wird der aktuelle Wert des Regelsignals x am Ausgang der

35 Druckregeleinrichtung 184 erfasst (siehe Figur 4) und zwischengespeichert. Außerdem wird ein zugehöriger

Kraftstoff-Mengenstrom ermittelt. Dies geschieht in Verfahrensschritt S3. Analog wird vorgegangen, wenn in Verfahrensschritt S2' festgestellt wird, dass die Brennkraftmaschine aktuell zwar nicht in dem ersten Referenzbetriebspunkt, aber in einem zweiten oder dritten Referenzbetriebspunkt betrieben wird, was in den Verfahrensschritten S2'' und S2''' geprüft wird.

Das Regelsignal x wird in einem erkannten Referenzbetriebspunkt nicht nur einmal, sondern vorzugsweise mehrfach abgetastet, so dass in Verfahrensschritt S3 nicht nur ein einzelner Wert, sondern eine Mehrzahl von Werten für das Regelsignal x für jeweils einem Referenzbetriebspunkt zur Verfügung steht.

In Verfahrensschritt S4 werden die abgetasteten Werte für das Regelsignal x dann gefiltert, das heißt zum Beispiel dahingehend beobachtet beziehungsweise ausgewertet, inwieweit sie einen stabilisierten Wert für das Regelsignal x in dem aktuell eingenommenen Referenzbetriebspunkt repräsentieren. Diese Auswertung kann zum Beispiel in der Weise erfolgen, dass geprüft wird, ob die abgetasteten Werte innerhalb einer vordefinierten ε -Umgebung um einen Grenzwert liegen. Wenn sich bei einer derartigen Auswertung zeigt, dass die Abtastwerte des Regelsignals noch zu sehr schwanken und kein stabilisierter Wert erkennbar ist, dann wird von Verfahrensschritt S4 auf Verfahrensschritt S1 zurückverzweigt, wobei sich dann die Verfahrensschritte S2, S3 und S4 wiederholen. Alternativ zu einer Grenzwertbetrachtung können bei der Filterung die abgetasteten Werte in Schritt S4 auch einer Stabilisierung durch Mittelwertbildung unterzogen werden.

Wenn am Ende von Verfahrensschritt S2''' festgestellt wurde, dass die Brennkraftmaschine aktuell in keinem der

Referenzbetriebspunkte betrieben wird, verzweigt das Verfahren ebenfalls wieder nach Verfahrensschritt S1.

5 Wenn jedoch in Verfahrensschritt S4 erkannt wird, dass die abgetasteten Werte für das Regelsignal x tatsächlich einen stabilen Wert repräsentieren, dann wird dieser Wert als endgültiger Stützpunkt für den jeweiligen Referenzpunkt auf der individuellen Kennlinie für die jeweils tatsächlich verwendete Zumesseinheit definiert. Diese Definition
10 erfolgt in Verfahrensschritt S5. Der jeweilige Referenzpunkt, für den ein stabilisiertes Regelsignal definiert wurde, gilt dann im Rahmen der Lernfunktion als gelernt.

15 Im Verfahrensschritt S6 wird dann nachfolgend geprüft, ob bereits alle Referenzpunkte als gelernt gelten oder nicht. Wenn dem nicht so ist, verzweigt das Verfahren gemäß Figur 3 wieder zurück auf Verfahrensschritt S1, wo dann erneut im Zusammenwirken mit den Verfahrensschritten S2', S2'' und
20 S2''' geprüft wird, ob sich die Brennkraftmaschine in einem der Referenzpunkte befindet, für die noch kein stabilisiertes Regelsignal z definiert wurde. Für diese Referenzbetriebspunkte werden dann die Verfahrensschritte S3, S4, S5 und S6 erneut durchlaufen. Wenn jedoch in
25 Verfahrensschritt S6 festgestellt wird, dass alle oder eine zumindest ausreichende Anzahl von Referenzbetriebspunkten gelernt wurde, dann wird gemäß Verfahrensschritt S7 die individuelle Kennlinie i_{KL} für die jeweils real verwendete Zumesseinheit 130 durch Interpolation der endgültigen
30 Stützstellen ermittelt. Die bei der Interpolation auftretenden Knicke in der individuellen Kennlinie können dann durch Extrapolation geglättet werden.

Die gemäß Verfahrensschritt S7 ermittelte individuelle
35 Kennlinie für die Zumesseinheit 130 wird dann vorzugsweise

in das Steuergerät 180 implementiert und zur präzisen Ansteuerung der Zumesseinheit 130 verwendet.

Alternativ zu dieser Vorgehensweise besteht auch die Möglichkeit, aus der so ermittelten individuellen Kennlinie eine Korrekturkennlinie herzuleiten, welche die Unterschiede in dem Verhalten der tatsächlich verwendeten Zumesseinheit gegenüber einer normierten Zumesseinheit repräsentiert. Diese Korrekturkennlinie lässt sich einfach durch Differenzbildung zwischen der individuellen und der Normkennlinie, insbesondere an den die einzelnen Referenzbetriebspunkte repräsentierenden Stützstellen, ermitteln.

Mit der Kenntnis dieser Korrekturkennlinie kann dann ein wie bisher auf Basis der Normkennlinie generiertes Regelsignal x zur Ansteuerung der Zumesseinheit korrigiert werden. Dazu wird das Steuergerät 180 vorzugsweise als Druckregler gemäß Figur 4 ausgebildet.

Als solcher umfasst es eine erste Subtraktionseinrichtung 182 zum Erzeugen einer Druckregelabweichung e als Differenz zwischen dem durch das Messsignal p repräsentierten Ist-Druck und einem vorgegebenen Soll-Druck p_{soll} in dem Kraftstoffspeicher 150. Das Steuergerät umfasst weiterhin die Druckregeleinrichtung 184 zum Empfangen der Regelabweichung e und zum Generieren eines Regelsignals x nach Maßgabe durch die Regelabweichung e und unter Zugrundelegung einer Norm-Kennlinie Kraftstoff-Mengenstrom/elektrischer Ansteuerstrom für die Zumesseinheit 130. Das Regelsignal x repräsentiert die in Anbetracht der aktuellen Druck-Regelabweichung e von der Zumesseinheit 130 für die Hochdruckpumpe 140 bereitzustellende Kraftstofffördermenge, welche erforderlich ist, um die Regelabweichung zu Null zu machen.

Neben der Norm-Kennlinie ist in dem Steuergerät 180 auch eine gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zu generierende Korrekturkennlinie hinterlegt. Sie dient zum Ermitteln eines Korrekturanteils für das Regelsignal x, welcher ein
5 eventuell unterschiedliches Ansteuer- und Förderverhalten der real verwendeten Zumesseinheit 130 gegenüber einer normierten Zumesseinheit repräsentiert. Mit Hilfe einer zweiten Additions- beziehungsweise Subtraktionseinrichtung 187 generiert das Steuergerät 180 dann ein korrigiertes
10 Regelsignal y für die Zumesseinheit 130. Mit Hilfe der zweiten Additions- oder Subtraktionseinrichtung wird das Regelsignal x mit dem Korrekturanteil zu dem korrigierten Regelsignal y verknüpft, welches einen korrigierten Mengenwunsch für die durch die Zumesseinheit 130
15 bereitzustellende Kraftstofffördermenge repräsentiert. Vorteilhafterweise umfasst das Steuergerät 180 weiterhin eine Filtereinrichtung 188 zum Generieren eines stabilisierten korrigierten Regelsignals z aus dem korrigierten Regelsignal y zum Ansteuern der Zumesseinheit
20 130.

Bei dem soeben beschriebenen Aufbau des Steuergerätes 180 als Druckregler wurde vorausgesetzt, dass in dem Steuergerät und insbesondere in der Druckregeleinrichtung
25 184 eine Norm-Kennlinie für Zumesseinheiten hinterlegt ist. Zusätzlich ist erfindungsgemäß die Korrekturkennlinie 186 hinterlegt, zum Anpassen der Norm-Kennlinie an das reale Verhalten der tatsächlich verwendeten Zumesseinheit 130. Durch die mathematische Verknüpfung dieser beiden
30 Kennlinien wird praktisch die neue, individuelle Kennlinie generiert, welche das reale Verhalten der tatsächlich verwendeten Zumesseinheit repräsentiert. Diese individuelle Kennlinie liegt letzten Endes dem berechneten, korrigierten Regelsignal y zugrunde.

In Figur 5 sind die Auswirkungen der Verwendung der individuellen Kennlinie iKL beziehungsweise der Norm-Kennlinie nKL unter Berücksichtigung der Korrekturkennlinie (nicht gezeigt) auf das Druckregelverhalten des

5 Einspritzsystems veranschaulicht. Es ist zu erkennen, dass, wenn die Druckregeleinrichtung 184 einen bestimmten Mengenstrombedarf Q zum Ausregeln einer aktuell festgestellten Druckregelabweichung e ermittelt hat, zum Beispiel 118 Liter pro Stunde (1), dann wird dieser
10 Mengenbedarf zunächst gemäß der gelernten Korrekturkennlinie abgeändert (2). Mit diesem korrigierten Mengenbedarf wird dann aus der in dem Steuergerät 180 hinterlegten Norm-Kennlinie nKL derjenige elektrische Sollstrom ermittelt, der zum Ausgleich der festgestellten
15 Regelabweichung e für die Ansteuerung der tatsächlich verwendeten Zumesseinheit 130 erforderlich ist. Dass es sich bei diesem Strom, der in Figur 5 beispielhaft einen Wert von 1,07 A hat, tatsächlich um den richtigen Strom handelt, ist in Figur 5 dadurch zu erkennen, dass sich für
20 genau diesen Strom bei Zugrundelegung der individuellen Kennlinie iKL genau der benötigte Mengenstrombedarf von 118 Litern pro Stunde ergibt (3).

In Figur 6 sind die Auswirkungen der Verwendung der individuellen Kennlinie beziehungsweise der Norm-Kennlinie
25 bei zusätzlicher Berücksichtigung der Korrekturkennlinie auf den Druck in dem Kraftstoffspeicher 150 zu erkennen. Der Ausgang der Druckregeleinrichtung 184 ohne Korrektur D, das heißt das Regelsignal x , ist wesentlich instabiler als
30 der Reglerausgang mit nachgeschalteter Korrektur C, welcher das Regelsignal y repräsentiert; die Instabilität zeigt sich in größeren Amplitudenschwankungen. Dementsprechend sind auch die Schwankungen des Druckes in dem Kraftstoffspeicher 150 ohne Korrektur A, das heißt bei
35 Ansteuerung der Zumesseinheit 130 direkt durch das

Regelsignal x wesentlich größer als die Druckschwankungen B bei Ansteuerung der Zumesseinheit mit dem korrigierten Regelsignal y oder sogar dem stabilisierten Regelsignal z .

5 Das erfindungsgemäße Verfahren wird vorzugsweise in Form eines Computerprogramms realisiert. Dieses Computerprogramm kann dann gegebenenfalls zusammen mit weiteren Computerprogrammen zur Steuerung und/oder Regelung des Einspritzsystems der Brennkraftmaschine auf einem Computer
10 lesbaren Datenträger abgespeichert sein. Bei dem Datenträger kann es sich um eine Diskette, eine Compact-Disc, einen sogenannten Flash-Memory oder dergleichen handeln. Das auf dem Datenträger abgespeicherte Computerprogramm kann dann als Produkt an einen Kunden
15 verkauft werden.

Alternativ zu einer Übertragung per Datenträger kann die Übertragung auch über ein elektronisches Kommunikationsnetzwerk, insbesondere das Internet,
20 erfolgen.

R.306438

5 01.12.2003 WKL/HUT/GGA
Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

10 Ansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einem Einspritzsystem (100), insbesondere für ein Kraftfahrzeug, bei dem Kraftstoff von einer Zumesseinheit
15 (130) und einer Hochdruckpumpe (140) in einen Kraftstoffspeicher (150) gefördert wird, und bei dem der Druck in dem Kraftstoffspeicher (150) erfasst und durch Ansteuerung der Zumesseinheit (130) geregelt wird;
dadurch gekennzeichnet, dass
20 während des Betriebs der Brennkraftmaschine eine individuelle Kennlinie (iKL), welche das reale Verhalten der Zumesseinheit repräsentiert, für die Ansteuerung der Zumesseinheit (130) ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
25 dass die Ermittlung eines vorzugsweise zunächst nur vorläufigen Stützpunktes für die individuellen Kennlinie, welche den von der Zumesseinheit (130) für die Hochdruckpumpe bereitgestellten Kraftstoff-Mengenstrom (Q) in Abhängigkeit ihres Ansteuerstromes (I) repräsentiert,
30 folgende Schritte umfasst:

Betreiben der Brennkraftmaschine in einem geeignet vorbestimmten Referenzbetriebspunkt; und
Ermitteln des vorläufigen Stützpunktes der individuellen Kennlinie für den Referenzbetriebspunkt als Wertepaar

umfassend den von der Zumesseinheit (130) in dem Referenzbetriebspunkt für die Hochdruckpumpe (140) bereitgestellten Kraftstoff-Mengenstrom und den zugehörigen elektrischen Ansteuerstrom.

- 5 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung des vorläufigen Stützpunktes erst dann durchgeführt wird, wenn die Brennkraftmaschine bei Betrieb in dem Referenzbetriebspunkt einen vorbestimmten Mindesttemperatur-Schwellenwert überschritten hat.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

15 Ermitteln einer Mehrzahl von vorläufigen Stützpunkten für ein und denselben vorbestimmten Referenzbetriebspunkt durch Mehrfaches Wiederholen der Verfahrensschritte nach Anspruch 2; und

Ermitteln eines endgültigen Stützpunktes für den vorbestimmten Referenzbetriebspunkt durch Filtern der Mehrzahl der vorläufigen Stützpunkte.

- 20 5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Filterung in einer Mittelwertbildung oder in einer Auswertung der ermittelten vorläufigen Stützpunkte hinsichtlich der Frage besteht, ob die vorläufigen Stützpunkte innerhalb einer vordefinierten ε -Umgebung um
25 einen Grenzwert liegen, wobei dann der Grenzwert als endgültiger Stützpunkt definiert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung der individuellen Kennlinie folgende Schritte umfasst:

30 Ermitteln von mindestens zwei endgültigen Stützpunkten für die individuelle Kennlinie durch Wiederholen der Schritte nach Anspruch 2 für unterschiedliche geeignet ausgewählte

Referenzbetriebspunkte; und

Ermitteln der individuellen Kennlinie für die real verwendete Zumesseinheit (130) durch Interpolieren der mindestens zwei Stützpunkte und vorzugsweise Extrapolieren von aus der Interpolation mehrerer Stützpunkte resultierender Knickpunkte der individuellen Kennlinie.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Referenzbetriebspunkt durch einen vorbestimmten Druck im Kraftstoffspeicher, eine vorbestimmte Einspritzmenge und/oder eine vorbestimmte Drehzahl der Brennkraftmaschine definiert wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Referenzbetriebspunkte zur Ermittlung einer einzelnen individuellen Kennlinie fahrzeugabhängig in unterschiedliche Betriebszustände der Brennkraftmaschine, wie beispielsweise Leerlauf oder Volllast oder maximales Drehmoment, gelegt werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Referenzbetriebspunkte zur Ermittlung einer einzelnen individuellen Kennlinie fahrzeugabhängig in solche Betriebszustände der Brennkraftmaschine gelegt werden, in denen die Brennkraftmaschine bei Einbau in ein Fahrzeug am häufigsten betrieben wird.

10. Computerprogramm mit Programmcode, dadurch gekennzeichnet, dass der Programmcode ausgebildet ist zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9.

11. Datenträger gekennzeichnet durch das Computerprogramm nach Anspruch 10.

12. Steuergerät (180) für eine Brennkraftmaschine mit einem Einspritzsystem (100), insbesondere für ein Kraftfahrzeug, bei dem Kraftstoff von einer Zumesseinheit (130) und einer Hochdruckpumpe (140) in einen Kraftstoffspeicher (150) gefördert wird, und bei dem der Druck in dem Kraftstoffspeicher erfasst und durch Ansteuerung der Zumesseinheit geregelt wird;

dadurch gekennzeichnet, dass

das Steuergerät (180) ausgebildet ist, während des Betriebs der Brennkraftmaschine eine individuelle Kennlinie, welche das reale Verhalten der Zumesseinheit (130) repräsentiert, zu ermitteln.

13. Steuergerät (180) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät ausgebildet ist, während des Betriebs der Brennkraftmaschine eine Korrekturkennlinie zu ermitteln, welche den Unterschied zwischen dem Verhalten der real verwendeten gegenüber einer normierten Zumesseinrichtung repräsentiert, und die individuelle Kennlinie (iKL) durch Superposition der Korrekturkennlinie mit einer das Verhalten einer normierten Zumesseinheit repräsentierenden Norm-Kennlinie (nKL) zu ermitteln.

14. Steuergerät (180) nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät ausgebildet ist, die Zumesseinheit (130) unter Berücksichtigung der zuvor ermittelten individuellen Kennlinie (iKL) anzusteuern.

15. Steuergerät (180) nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät umfasst: eine Druckregleinrichtung (184) zum Empfangen einer Regelabweichung (e) als Differenz zwischen einem Ist-Druck und einem Soll-Druck in dem Kraftstoffspeicher (150) und zum Generieren eines Regelsignals (x) nach Maßgabe durch die Regelabweichung (e) unter Zugrundelegung einer Norm-

Kennlinie (nKL) für die Zumesseinheit (130), wobei das Regelsignal (x) die in Anbetracht der Regelabweichung (e) von der Zumesseinheit (130) für die Hochdruckpumpe (140) bereitzustellende Kraftstofffördermenge repräsentiert;

5 die hinterlegte Korrekturkennlinie (186) zum Ermitteln eines Korrekturanteils für das Regelsignal (x), welcher ein eventuell unterschiedliches Ansteuer- und Förderverhalten der real verwendeten gegenüber der normierten Zumesseinheit repräsentiert;

10 eine Additions- oder Subtraktionseinrichtung (187) zum Generieren eines korrigierten Regelsignals (y) für die Zumesseinheit (130) durch mathematisches Verknüpfen des Regelsignals (x) mit dem Korrekturanteil, wobei das korrigierte Regelsignal (y) einen korrigierten Mengenwunsch
15 für die durch die Zumesseinheit (130) bereitzustellende Kraftstofffördermenge repräsentiert.

16. Steuergerät nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät weiterhin eine Filtereinrichtung (188) aufweist zum Generieren eines
20 stabilisierten Regelsignals (z) für die Zumesseinheit (130) durch Filtern des korrigierten Regelsignals (y).

17. Brennkraftmaschine, insbesondere für ein Kraftfahrzeug, mit einem Einspritzsystem (100) bei dem Kraftstoff von einer Zumesseinheit (130) und einer
25 Hochdruckpumpe (140) in einen Kraftstoffspeicher (150) gefördert wird, und bei dem der Druck in dem Kraftstoffspeicher (150) erfasst und durch Ansteuerung der Zumesseinheit durch ein Steuergerät (180) geregelt wird;

dadurch gekennzeichnet, dass

30 das Steuergerät (180) ausgebildet ist, während des Betriebs der Brennkraftmaschine eine individuelle Kennlinie, welche das reale Verhalten der Zumesseinheit (130) repräsentiert, zu ermitteln und/oder die Zumesseinheit mit der individuellen Kennlinie anzusteuern.

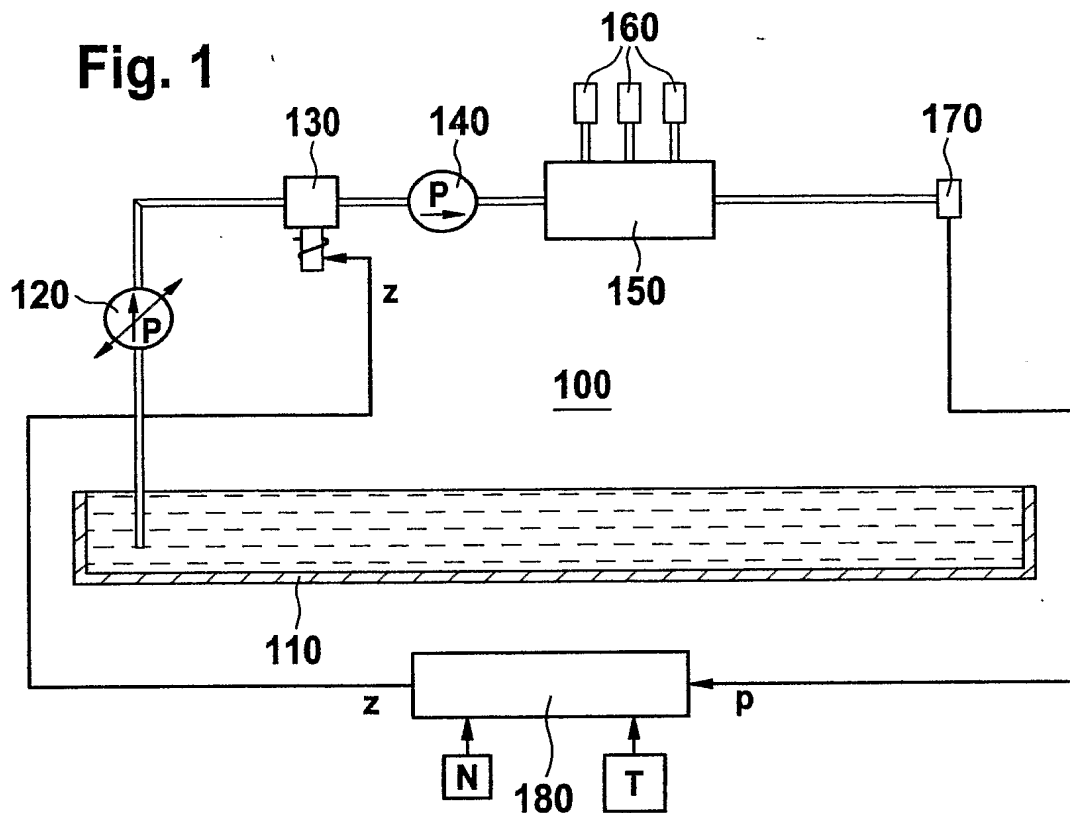
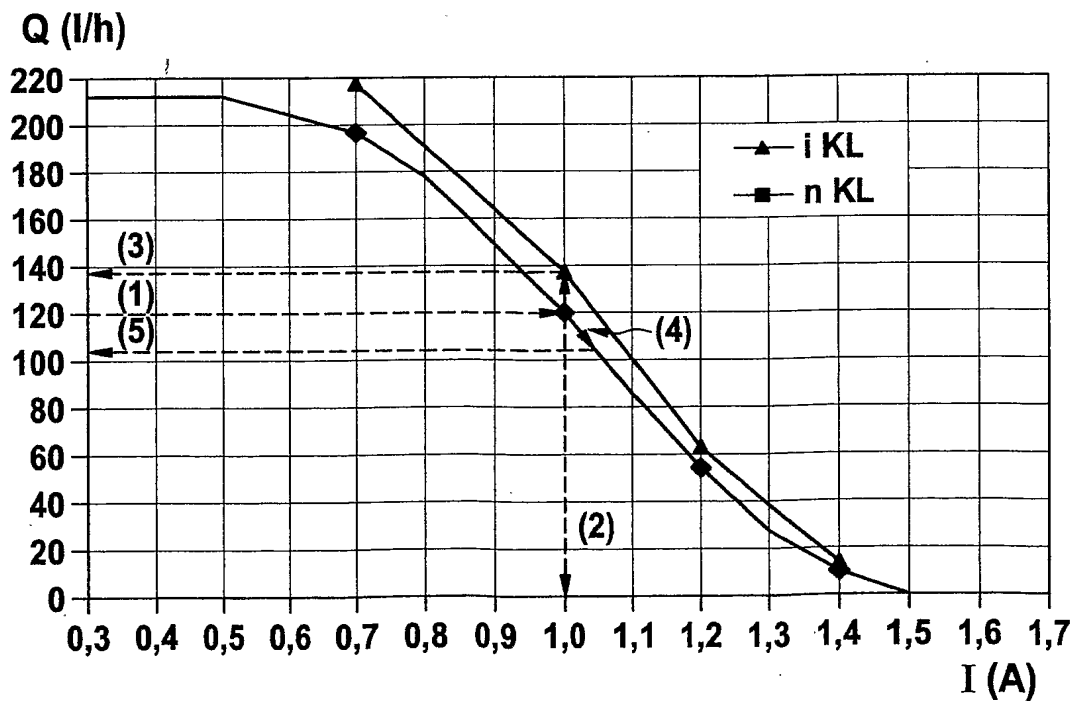
R.306438

5 01.12.2003 WKL/HUT/GGA
Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

Verfahren und Steuergerät zum Betreiben einer
Brennkraftmaschine mit einem Einspritzventil

Zusammenfassung

15 Die Erfindung betrifft ein Verfahren, ein Computerprogramm
und Steuergerät zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit
einem Einspritzsystem, insbesondere für ein Kraftfahrzeug.
Bei dem Einspritzsystem wird Kraftstoff von einer
Zumesseinheit (130) und einer Hochdruckpumpe (140) in einen
20 Kraftstoffspeicher (150) gefördert. Der Druck in dem
Kraftstoffspeicher wird erfasst und durch Ansteuerung der
Zumesseinheit (130) durch das Steuergerät (180) geregelt.
Um bei dieser, soweit bekannten, Anordnung auch eventuelle
Fertigungstoleranzen einzelner Zumesseinheiten (130) bei
25 der Regelung des Druckes in dem Kraftstoffspeicher (150) zu
berücksichtigen und die Regelung auf diese Weise präziser
zu machen, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, eine
individuelle Kennlinie (iKL) für die jeweils aktuell
verwendete Zumesseinheit (130) zu ermitteln und bei der
30 Druckregelung zu berücksichtigen. (Figur 1)

**Fig. 2**

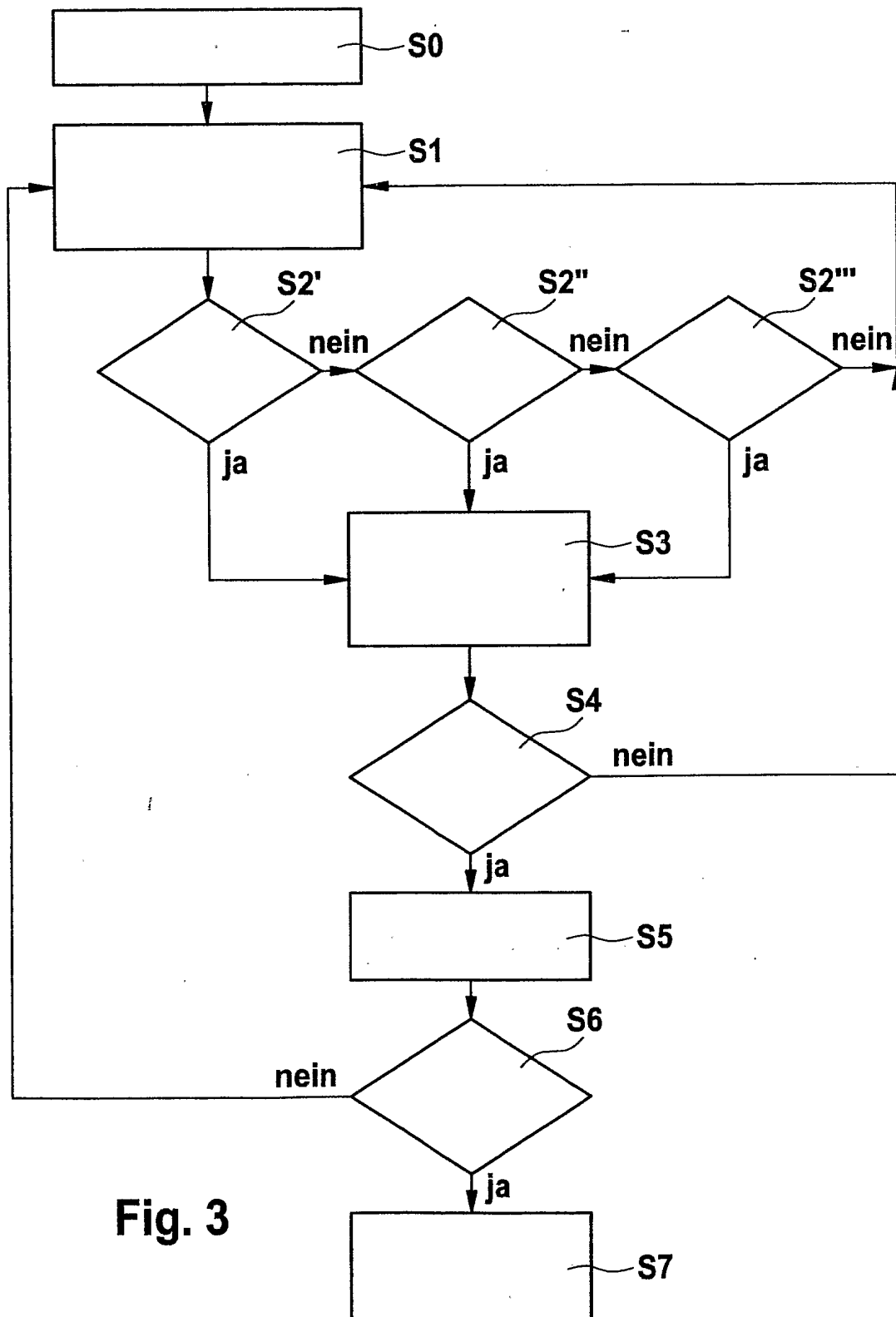


Fig. 3

Fig. 4

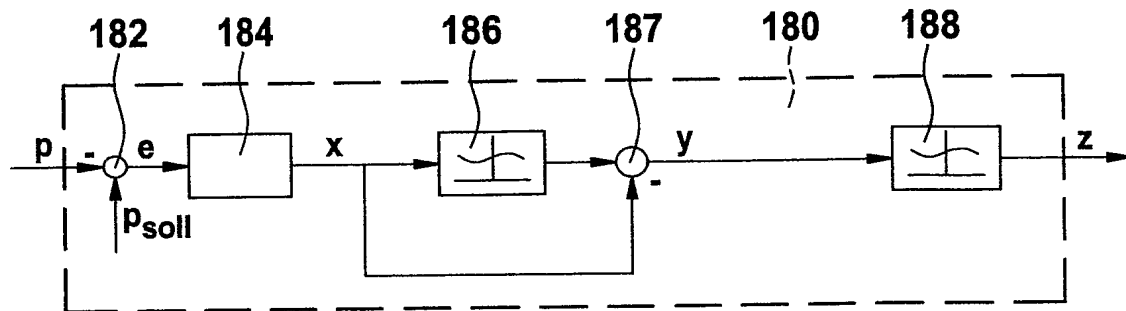
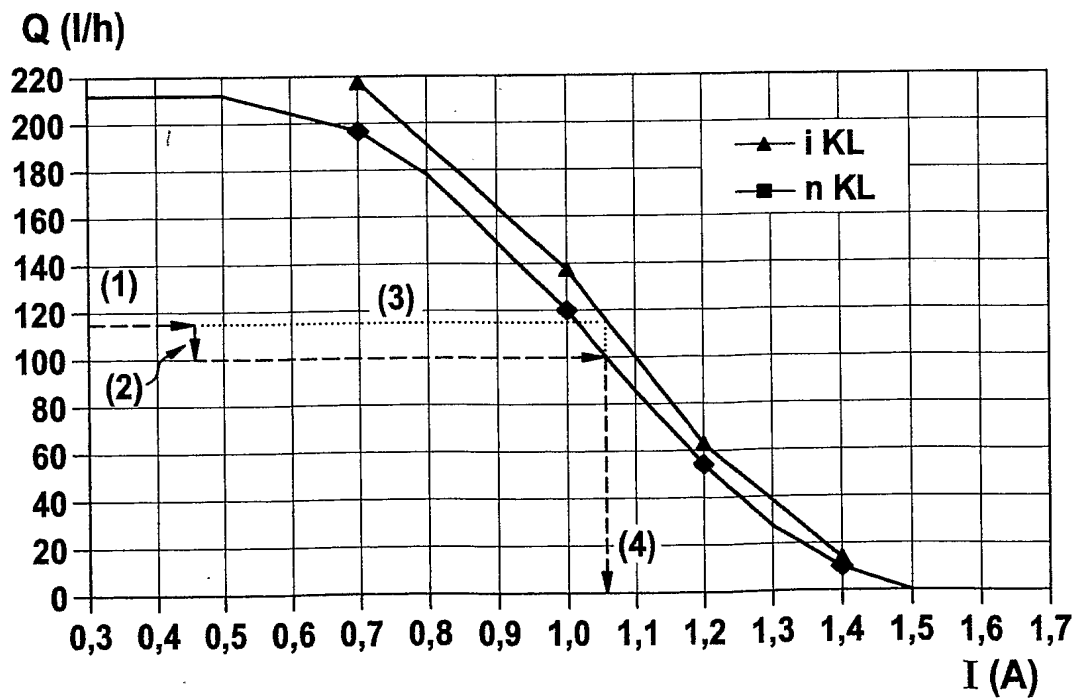


Fig. 5



4 / 4

Fig. 6

